

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

As rescanning documents *will not* correct images,  

---

please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 100 39 951.7

**Anmeldetag:** 16. August 2000

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft,  
München/DE

**Bezeichnung:** Verfahren und Anordnung zur Kompen-  
sation von Kreuzphasenmodulation

**IPC:** H 04 B, H 04 J

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 31. Mai 2001  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

**Hieblinger**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## Beschreibung

## Verfahren und Anordnung zur Kompensation von Kreuzphasenmodulation

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kompensation von in einem Faserverstärker generierten Kreuzphasenmodulation.

Außerdem betrifft die Erfindung hierzu geeignete Anordnungen.

10

Bei optischen Wellenlängenmultiplexsystemen kommt es durch Kreuzphasenmodulation zur gegenseitigen Störung der einzelnen Übertragungssignale. Aus "IEEE Photonics Technologie Letters", Vol. 10, No. 12, Dez. 1998, Seiten 1796 bis 1798 ist zu entnehmen, daß die in einem Faserverstärker erzeugte Kreuzphasenmodulation (XPM) etwa so bedeutend sein kann, wie die bei der Ausbreitung in der Faser verursachte Phasenmodulation. Offensichtlich ist es von den Eigenschaften der Übertragungsfaser, dem verwendeten Übertragungsband und dem Faserverstärker abhängig, welche Anteile die Faserverstärker und die Übertragungsfaser an einer Kreuzphasenmodulation haben. Aus IEEE Photonics Letters, Vol. 11, No.12, Seiten 1578 bis 1580, 1999 sind weitere Untersuchungen zu diesem Thema bekannt.

25

Die Auswirkungen von nichtlinearen Effekten, die in den Übertragungsfasern auftreten, lassen sich durch geeignete Kompensation reduzieren. **Figur 1** zeigt ein Beispiel einer Strecke, die Verstärker V, Standard-Monomodefasern SSMF und eine Dispersionskompensation mit dispersionskompensierenden Fasern aufweist. Setzt man voraus, daß die Dispersion in dotierten Fasern vernachlässigbar sei und nichtlineare Effekte nur jeweils in den zweiten Stufen der Verstärker V auftreten und die resultierende Dispersion DSP am Empfänger E gleich "0" ist, dann können im Verstärker induzierte Phasenänderungen nicht in Intensitätsänderungen des übertragenen Signals umgesetzt werden und es treten keine Signalverzerrungen durch die

30

35

im Faserverstärker induzierte Kreuzphasenmodulation auf. Die von der Länge L der Übertragungsfaser abhängige Dispersion ist unterhalb der schematisch dargestellten Übertragungsstrecke gezeigt.

- 5 Im Hinblick auf die in den Übertragungsfasern entstehende Kreuzphasenmodulation ist das Kompensationsschema jedoch nicht ideal. Besser geeignet ist ein Schema, bei dem bereits vor der ersten Übertragungsfaser eine dispersionskompensierende Faser DCF1 eingefügt ist. Bei dieser in **Figur 2** dargestellten Anordnungen können die in den Faserverstärker induzierten Phasenänderungen jedoch zu Signalverzerrungen führen.

- Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren anzugeben, daß die in den Faserverstärkern generierte Kreuzphasenmodulation  
15 kompensiert. Außerdem sind hierfür geeignete Anordnungen anzugeben.

- Diese Aufgabe wird durch ein im Patentanspruch 1 angegebenes Verfahren zur Kompensation der Kreuzphasenmodulation gelöst.  
20 Eine hierzu geeignete Anordnungen ist im unabhängigen Anspruch 5 angegeben.

- Die Erfindung besteht darin, daß die durch Phasenmodulation hervorgerufenen Intensitätsschwankungen des optischen Wellenlängenmultiplexsignals in ein elektrisches Signal umgesetzt werden, mit denen der Phasenmodulator angesteuert wird, der diese wiederum in entgegengerichtete Intensitätsschwankungen umsetzt. Es kann eine maximale Kompensation erreicht werden, wenn direkt vor oder nach dem Faserverstärker den Intensitätsschwankungen des optischen Signals entgegengerichtete Phasenänderungen aufgeprägt werden. Da im Faserverstärker praktisch keine Laufzeitunterschiede zwischen den einzelnen Signalen bestehen (fehlender Walk-Off), erfahren alle Signale die selben Phasenänderungen. Die Kompensation kann also für  
35 alle Signale gemeinsam erfolgen, ohne daß vorher ein Demultiplexen erforderlich ist. Ferner ist für die Ansteuerung des

Phasenmodulators nur die Gesamtleistung von Bedeutung, wie diese sich auf die einzelnen Kanäle verteilt ist unerheblich. Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand von Figuren näher erläutert.

5

Figur 1 zeigt ein herkömmliches Schema zur Dispersionskompensation,

Figur 2 ein verbessertes Schema zur Dispersionskompensation,

Figur 3 ein Prinzipschaltbild zur XPM-Kompensation,

10 

Figur 4 eine Anordnung zur Vorwärtskompensation,

Figur 5 eine dem Faserverstärker nachgeschaltete Kompensationsanordnung,

Figur 6 eine Kompensationsanordnung, bei der Teile der Verstärkerfaser integriert sind, und

15 

Figur 7 eine Kompensationsanordnung mit Regeleinrichtung.

Von den in der Beschreibungseinleitung bereits erläuterten Anordnungen zur Dispersionskompensation, erfordert das in **Figur 2** dargestellte Kompensationsschema zusätzlich die Kompensation der in den Faserverstärkern generierten Kreuzphasenmodulation. Das erfindungsgemäße Verfahren und die zu dessen Durchführung geeigneten Anordnungen können stets verwendet werden, wenn störende Kreuzphasenmodulation in einem Faserverstärker erzeugt wird.

25

**Figur 3** zeigt das Prinzipschaltbild einer XPM-

Kompensationsanordnung. Über eine Übertragungsfasern 1 wird ein Wellenlängenmultiplexsignal WMS übertragen und von einem Faserverstärker 6 verstärkt. Dem Eingang des Faserverstärkers ist eine XPM-Kompensationseinrichtung 5, 6, 4, 2 vorgeschaltet. Diese enthält einen Phasenmodulator 2, dem das Wellenlängenmultiplexsignal WMS zugeführt wird. Dem Phasenmodulator ist hier ein Meßwandler 5 nachgeschaltet, der ein dem Wellenlängenmultiplexsignal entsprechendes optisches Meßsignal OMS  
35 abzweigt, während der Hauptanteil der Energie dem Eingang des Faserverstärkers 6 zugeführt wird. Das optische Meßsignal OMS wird zunächst in einem optoelektrischen Wandler in ein elekt-

risches Meßsignal EMS umgesetzt, das auch noch für Regelzwecke des Verstärkers verwendet werden kann, und dann in einem elektrischen Verstärker 4 verstärkt. Das so erzeugte Steuerungssignal SMS steuert den Phasenmodulator 2 derart, daß die im Faserverstärker 6 erzeugte Kreuzphasenmodulation zumindest nahezu (vor-) kompensiert wird.

**Figur 4** zeigt eine weitere XPM-Kompensationsanordnung, bei der die Reihenfolge von Meßkoppler 5 und Phasenmodulator 2 vertauscht ist.

Durch Ändern der Verstärkung kann die Kompensation optimiert werden. Bei den üblichen hohen Datenraten kann eine optimale Kompensation durch Laufzeiten des Wandlers 3, des Verstärkers 4 und des Phasenmodulators 2 behindert werden. Deshalb ist bei der in **Figur 5** dargestellten Kompensationseinrichtung zwischen dem Meßwandler 5 und dem Phasenmodulator 2 eine Verzögerungseinrichtung 10 eingeschaltet, die als Teil der Verstärkerfaser, einer dispersionskompensierenden Faser oder als Übertragungsfaser ausgebildet sein kann. In **Figur 5** ist die XPM-Kompensationsanordnung dem Faserverstärker 6 nachgeschaltet.

**Figur 6** zeigt eine Kompensationsanordnung, bei der der Meßkoppler 5 und der Phasenmodulator 2 jeweils mit Abschnitten  $6_1$ ,  $6_2$ ,  $6_3$  der Verstärkerfaser in Reihe geschaltet sind. Ein Teil der Verstärkerfaser wirkt hier als Laufzeitglied. Der Meßkoppler ist nicht unmittelbar dem Verstärkereingang vorgeschaltet, so daß dessen Rauschqualitäten praktisch nicht verschlechtert werden.

In **Figur 7** ist an den Ausgang des Phasenmodulators 2 über einen zweiten Meßkoppler 7 eine XPM-Meß- und Regeleinrichtung angeschaltet. Diese mißt die verbleibende XPM und stellt die Verstärkung so ein, daß diese einen Minimalwert erreicht. Entsprechende Meßanordnungen sind jedoch noch sehr aufwendig.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Kompensation der in einem Faserverstärker  
(6) durch Kreuzphasenmodulation verursachten Signaländerungen  
5 eines Wellenlängenmultiplexsignals (WMS),  
bei dem aus dem optischen Wellenlängenmultiplexsignal (WMS)  
ein Steuersignal (SMS) gewonnen wird, das einen Phasenmodula-  
tor (2), dem das Wellenlängenmultiplexsignal (WMS) zugeführt  
wird, derart steuert,  
10 daß die durch die Kreuzphasenmodulation verursachten Signal-  
änderungen des Wellenlängenmultiplexsignals (WMS) zumindest  
weitgehend kompensiert werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
15 dadurch gekennzeichnet,  
daß von dem optischen Wellenlängenmultiplexsignal (WMS) ein  
optisches Meßsignal (OMS) abgezweigt wird, das durch opto-  
elektrische Wandlung in ein elektrisches Meßsignal (EMS) um-  
gesetzt wird, das wiederum von einem einstellbaren Verstärker  
20 (4) in das Steuersignal (SMS) umgesetzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das dem Phasenmodulator (2) zugeführte Wellenlängenmul-  
25 tiplexsignal (WMS) gegenüber dem optischen Meßsignal (OMS)  
verzögert wird.
4. Verfahren nach Anspruch einem der vorhergehenden Ansprü-  
che,  
30 dadurch gekennzeichnet,  
daß die Signaländerungen am Ausgang des Phasenmodulators (2)  
gemessen werden und eine Regelung des Steuersignals (SMS) er-  
folgt.
- 35 5. Anordnung zur Kompensation der in einem Wellenlängenmul-  
tiplexsignal (WMS) durch einen Faserverstärker (6) durch  
Kreuzphasenmodulation verursachten Signaländerungen,

bei der ein Steuerkreis vorgesehen ist mit einem Meßkoppler (5), der einen Teil des Wellenlängenmultiplexsignals (WMS) als optisches Meßsignal (OMS) auskoppelt, einem opto-elektrischen Wandler (3), der dieses in ein elektrisches Meßsignal (EMS) umsetzt, einem elektrischen Verstärker (4) und einem Phasenmodulator (2), dessen Signaleingang das Wellenlängenmultiplexsignal (WMS) zugeführt wird und dessen Modulationseingang das verstärkte Meßsignal als Steuersignal (SMS) zugeführt wird, wobei die Verstärkung so gewählt ist, daß der Phasenmodulator (2) ein zumindest weitgehend kompensiertes Wellenlängenmultiplexsignal (WMS) abgibt.

6. Anordnung nach Anspruch 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der Verstärker (4) einstellbar ist.

7. Anordnung nach Anspruch 5 oder Anspruch 6,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das Wellenlängenmultiplexsignal (WMS) zwischen Meßwandler (5) und Phasenmodulator (2) verzögert ist.

8. Anordnung nach Anspruch 4, 5 oder 6,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der Meßkoppler (5) und/oder der Phasenmodulator (2) zwischen mehreren Abschnitten ( $6_1$ ,  $6_2$ ,  $6_3$ ) einer Verstärkerfaser eingefügt wird.

9. Anordnung nach einem der Ansprüche 5 bis 8,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß sie dem Faserverstärker (6) unmittelbar vor- oder nachgeschaltet ist.

## Zusammenfassung

Verfahren und Anordnung zur Kompensation von Kreuzphasenmodulation

5

Die von einem Faserverstärker erzeugte Kreuzphasenmodulation wird kompensiert, indem die Amplitudenschwankungen des Wellenlängenmultiplexsignals (WMS) in ein elektrisches Signal umgesetzt werden, das einen Phasenmodulator (2) derart steuert, daß die durch Kreuzphasenmodulation verursachten Signalverzerrungen kompensiert werden.

10

Figur 4

## Bezugszeichenliste

	V	Verstärker
	SSMF	Übertragungsfaser
5	DEF	dispersionskompensierende Faser
	1	Übertragungsfaser
	2	Phasenmodulator
	3	opto-elektrischer Wandler
	4	elektrischer Verstärker
10	5	Meßkoppler
	6	Faserverstärker
	6 <sub>1</sub> , 6 <sub>2</sub> , 6 <sub>3</sub>	Faserabschnitt
	7	Wellenlängenmultiplexer
	8	zweiter Meßkoppler
15	9	XPM-Meß- und Regeleinrichtung
	WMS	optisches Wellenlängenmultiplexsignal
	P	Pumpsignal
	10	Verzögerungseintichtung
	OMS	optisches Meßsignal
20	EMS	elektrisches Meßsignal

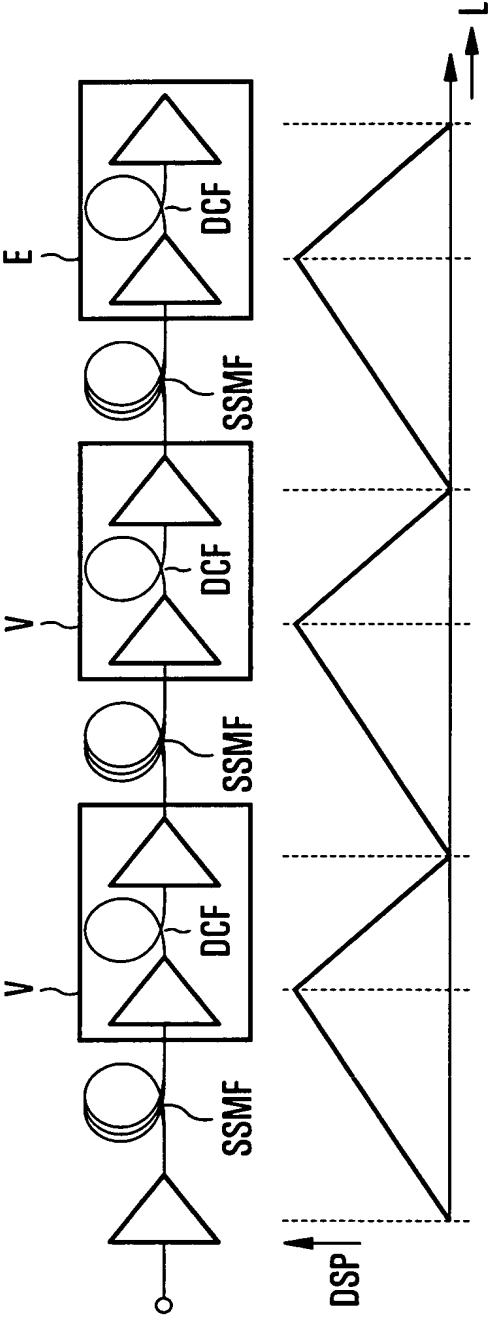


FIG 1

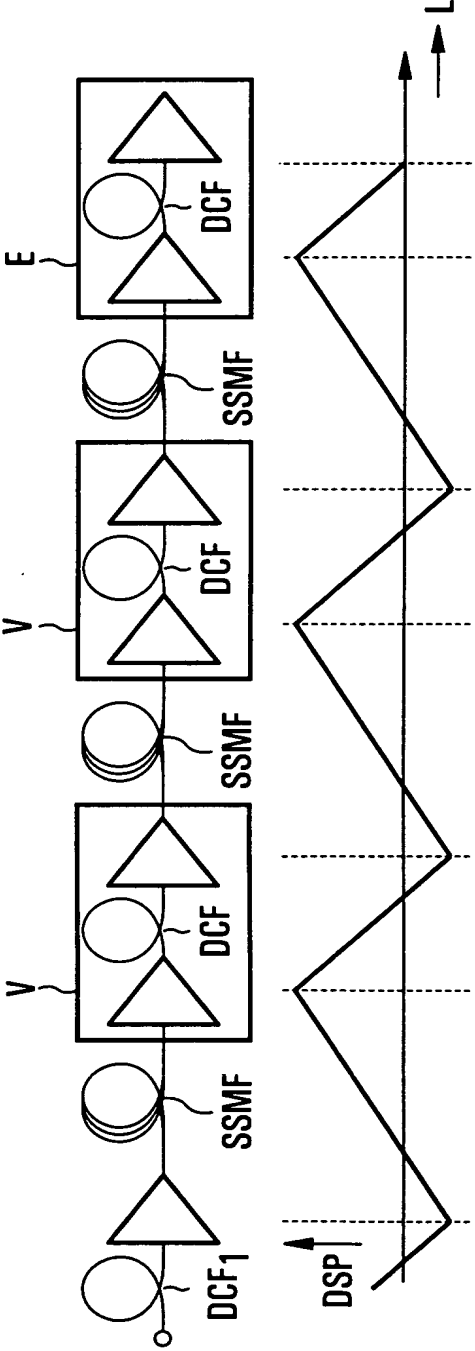
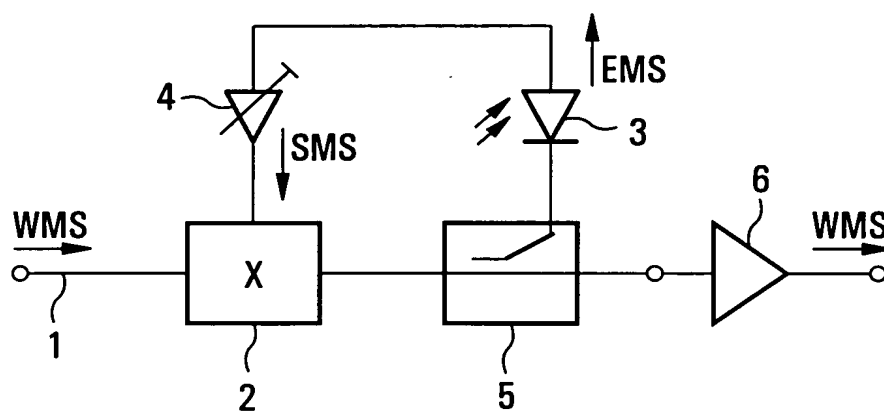
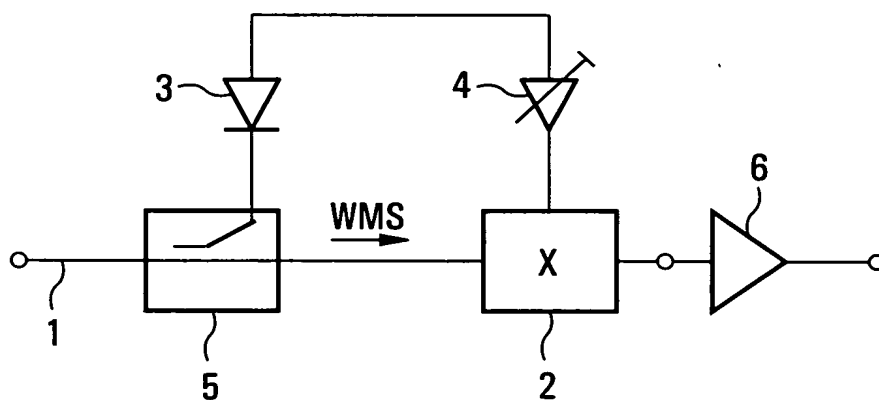


FIG 2

**FIG 3****FIG 4**

3/3

FIG 5

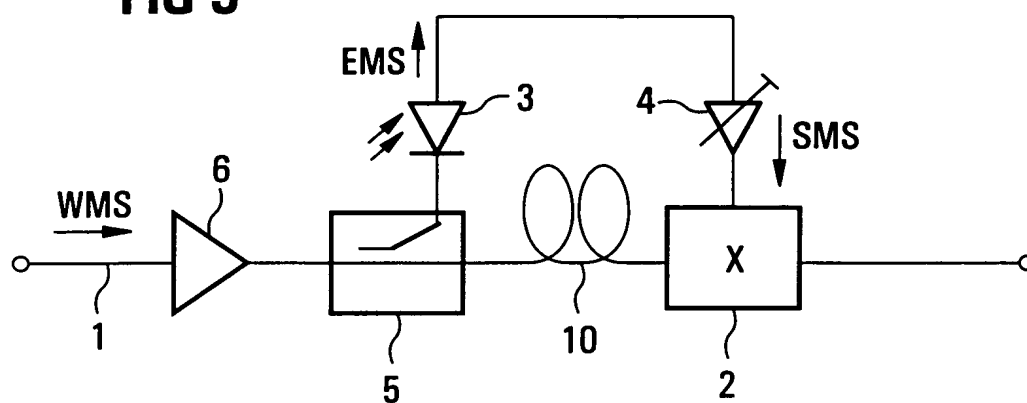


FIG 6

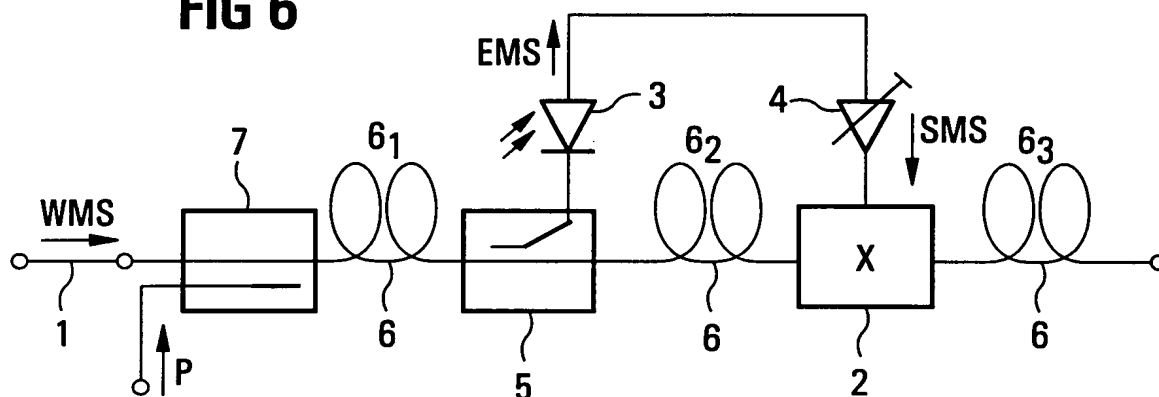
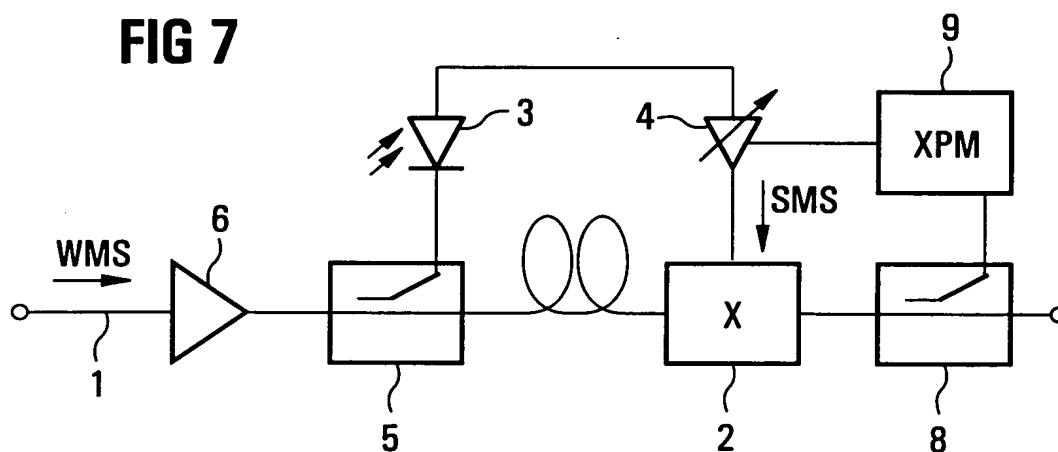


FIG 7



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**